

חישוב מדד ה-SPI לכל ישראל בעונה הנוכחית וב- 65 השנים הקודמות

דו"ח טכני

ד"ר נועם חלפון, (halfonno@ims.gov.il)

ד"ר איזבלה אוסטינסקי-צדקי, (osetinskyi@ims.gov.il)

השירות המטאורולוגי הישראלי, ת.ד. 25 בית דגן

תקציר

בוצע מחקר מקיף אשר תוצאותיו מאפשרות את הפקת מדד ה-SPI (Standardized Precipitation Index) לכל ישראל. התוצאות מוצגות על ידי מפה רציפה של המדד לעונת הגשם הנוכחית. זאת בהתבסס על סדרת נתונים הלקוחה ממפות משקעים מ-65 השנים הקודמות. להפקת מפות אלה קדם חישוב סדרות זמן של SPI לכל נקודות הסריג החל מהאזורים הדרומיים, עם ממוצע גשם מעל 100 מ"מ ועד לצפון הארץ. התוצאות הופקו לכל פרק זמן של שלושה חודשים קלנדאריים בתוך עונת הגשם וגם לעונה כולה.

מבוא:

מדד ה-SPI (Standardized Precipitation Index) הוא מדד בצורת, המבוסס על כמויות גשם בלבד, ומומלץ ע"י הארגון המטאורולוגי העולמי (WMO) לשימוש בכל השירותים המטאורולוגיים. המדד מחושב על בסיס סדרת מדידות כמויות הגשם לאותה תקופה קלנדארית (למשל, אוקטובר עד דצמבר) שנה אחרי שנה. מדד ה-SPI מתאר את חריגות גירעון המשקעים (או את עודף המשקעים) בטווחי זמן שונים ביחס לאקלים המקומי. הוא מאפשר להשוות את עצמת הבצורת המטאורולוגית בין מקומות שונים במרחב - אשר להם כמויות משקעים אחרות ומידת השתנות אחרת בין שנה לשנה. דבר זה מתאפשר על ידי המרה של התפלגות סדרת נתוני גשם להתפלגות נורמלית סטנדרטית. כל ערך מבטא את מספר סטיות התקן מהחציון ולכן מבטא גם את ההסתברות השנתית למצב הזה. קטגוריות ערכי מדד ה-SPI (ע"פ המלצת ה-WMO):

משמעות המדד	ערך מדד ה-SPI	Description
גשום באופן קיצוני	2+ and more	extremely wet
גשום מאד	1.5 to 1.99	very wet
גשום מהרגיל	1.0 to 1.49	moderately wet
קרוב לנורמלי	.99 to -.99	near normal
יבש מהרגיל	-1.0 to -1.49	moderately dry
יבש מאד	-1.5 to -1.99	severely dry
יבש באופן קיצוני	-2 and less	extremely dry

(לקוח במקור מהפרסום: https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_1090_en.pdf)

סדרות הנתונים עליהן התבסס חישוב מדד ה-SPI:

חישוב המדד SPI מחייב סדרת נתונים ארוכת שנים. חשיבות אורך סדרת הנתונים מודגשת בייחוד באזור אקלימי עם שונות בין-שנתית גבוהה יחסית כמו ישראל, ובפרט באזורים הצחיחים והצחיחים למחצה בה. נהוג לקבוע סף מינימלי של 30 שנות מדידה לחישוב ה-SPI, אך הבדיקה שביצענו עבור שני אורכי סדרת נתונים, האחת של 48 שנים מ-1968/69 עד 2015/16 והשנייה של 65 שנים מ-1952/53 עד 2016/17, העלתה כי אפילו סדרה של 48 שנים (הארוכה לכאורה מהסף המינימלי) לא מניבה בהכרח קטגוריה מהימנה של מדד הבצורת ובפרט לא בשנים קיצוניות יחסית, על פי ההיסטוריה האקלימית הידועה. לדוגמה, בדרום הארץ חישוב ערכי המדד הניבו ערכי יובש קיצוניים מאוד עבור עונת 1998/99, כשזו נבחנה בסדרה של 48 שנים, אך ערכים אלה התמתנו וכתוצאה מכך הניבו עבור עונה זו קטגוריה מתונה יותר עם הארכת הסדרה לאחר עד שנת 1952/53 והכללת שנות הבצורת הקשות בדרום 1957/58, 1959/60 ו-1962/63.

כאמור, תנאי חשוב בהכנת מסד הנתונים ובחירת המתודולוגיה הקובעת היה אורך סידרת הנתונים. התבססות על תחנות ווטיקות שפעילות משנות ה-50 של המאה הקודמת היתה בעייתית מאחר שמספרן הגיע בקירוב לרבע מסך כל התחנות הפעילות. בנוסף הפיזור שלהן בארץ אינו מיטבי (אין תחנות ווטיקות בהרי המרכז - למעט רצועה צרה בהרי ירושלים, אין תחנות ברמת הגולן ויש דלילות תחנות בנגב).

כמו כן, מטרתנו הייתה למפות את המדד SPI באופן רציף. הפתרון היה להסתמך על הפקת מפות גשם לכל אחת מהשנים הנכללות בחישוב המדד תוך התבססות על כ-400-600 תחנות גשם שפעלו מדי שנה וכך להשיג סטטיסטיקה מהימנה על כל שטח העניין. מפות שכאלה ניתנות להפקה החל מעונת 1952/53 (מ-1948 ועד לעונת 1951/52 אי אפשר היה להשיג נתונים מיהודה ושומרון, אך לאחר מכן ועד עונת 1966/67 נאספו ופורסמו ע"י הירדנים נתוני גשם מתחנות רבות ביהודה ושומרון שאפשרו מיפוי מהימן של אזור זה מאז ועד היום). ברמת הגולן אי אפשר היה להשתמש בנתונים מלפני עונת 1967/68, אך מאחר שמדובר בשטח קטן יחסית (כ-1000 קמ"ר), עם מתאם גבוה מאוד לכמויות המשקעים בגליל המזרחי, בוצעה בשנים אלה השלכה של כמויות המשקעים היחסיות שנמדדו בגליל המזרחי לשטחי רמת הגולן¹.

שיטת המיפוי של כמויות המשקעים התבססה על השלבים הבאים:

1. חישוב כמות המשקעים העונתית המדודה בתחנות הפעילות, בעונות הגשם השונות.
2. חילוף הערך הממוצע הרב שנתי לכל נקודת מדידה מתוך מפת המשקעים הממוצעת 1981-2010.
3. חישוב כמות המשקעים היחסית (הכמות המצטברת בכל שנה מחולקת בכמות השנתית הממוצעת)
4. אינטרפולציה של הכמות היחסית לפי שיטת IDW² וקבלת מפה של אחוז הגשם מהממוצע.

¹ אחוז הגשם מהממוצע (בתקופה שבין 1952/53 ל 1967/68) בצפון הגולן ובחרמון שוערך על פי אחוז הגשם שירד בתחנות אצבע הגליל – מטולה, כפר גלעדי, מרגליות ומשגב עם, במרכז הגולן על פי האחוז שהתקבל בתחנות בצפת כנען ומעט צפונה (ריחניה, יראון, מלכיה) ובדרום הגולן שוערך ע"י תחנות בגליל התחתון המזרחי (מזרח לרכס נצרת). בחינת הקשר בין התחנות בגליל המזרחי לבין אלו שבגולן, על פי החלוקה לעיל, מאז עונת 1968/9 ועד היום מלמדת על קשר הדוק ביניהן.

² המעריך המיטבי בשיטת אינטרפולציה זו, המתחשבת ב-15 תחנות שכנות נבחר לכל שנה באופן אובייקטיבי בעזרת הכלי Geo-statistical Analyst בתוכנת ArcGIS.

5. הכפלת הערכים ממפת אחוז הגשם מהממוצע בערכים ממפת המשקעים הממוצעת לקבלת מפת משקעים שנתית.

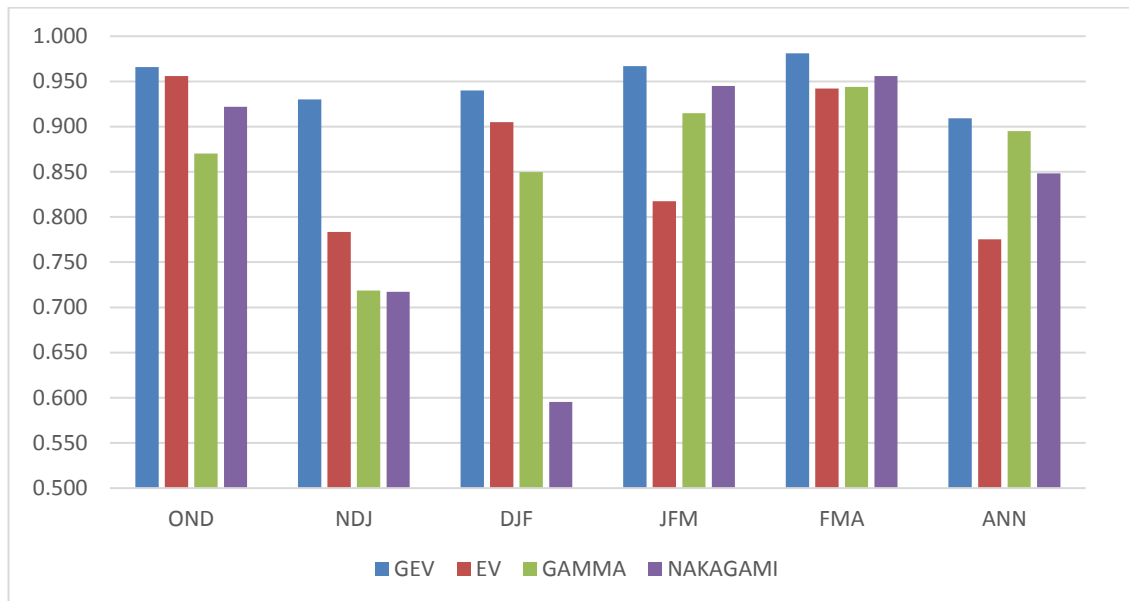
כך הופקה סדרה של מפות גשם עונתיות על פני כל המרחב וניתן היה לדגום בעזרתה את כמויות הגשם בסריג צפוף של 1 קילומטר על 1 קילומטר ולערוך סטטיסטיקה ארוכת טווח של 65 שנים לכל נקודת סריג. ראוי לציין כי האזור הצחיח הקיצוני (כמות שנתית ממוצעת נמוכה מ-100 מ"מ ב-65 השנים) לא מופה לאור השונות הגבוהה במיוחד בכמויות השנתיות והיעדר משמעות למושג בצורת באזור זה. סך הכל מופו 17824 קמ"ר, כלומר, סדרות נתוני המשקעים של 65 שנה חושבו ל-17824 נקודות הסריג (סה"כ למעלה ממיליון ערכים) ובאמצעות סדרות אלה חושב מדד ה-SPI בכל נקודה. בנוסף לכמות העונתית מופו עוד 5 סטים של סדרות נתונים של 65 שנה לפרקי זמן תלת חודשיים, SPI-3 (רבעונים), בעונת הגשם.

כדי לקבל נתוני כמויות גשם לצורך חישוב ערכי SPI תלת חודשיים, בוצעה אינטרפולציה על היחס בין כמות המשקעים התלת חודשית המדודה לכמות התלת חודשית הממוצעת (1981-2010) ויחס זה הוכפל לאחר מכן בערכים ממפת כמויות המשקעים התלת חודשיות הממוצעות לצורך קבלת מפת כמויות המשקעים האבסולוטיות. מיפוי תלת-חודשי של כמויות המשקעים בוצע כאמור לעיל לחודשים אוקטובר-דצמבר, נובמבר-ינואר, דצמבר-פברואר, ינואר-מרץ ופברואר-אפריל.

בחירת התפלגות האם (parent distribution) וחישוב מדד ה-SPI :

מדד ה-SPI חושב באופן הבא:

1. סדרת הנתונים בת 65 שנה של המשקעים בכל נקודת סריג נגזרה מהמיפוי כפי שתואר לעיל.
2. לכל סדרה הותאמה פונקציית התפלגות (התפלגות האם). להעדפת התפלגות האם השתמשנו במבחן טיב ההתאמה (Goodness-of-fit test, GoF) של Anderson-Darling.
3. כדי לקבל רצף במיפוי המדד, חיפשנו משפחת התפלגויות אם אחידה שיכולה לייצג את התפלגות הנתונים לכל נקודות הסריג. הקריטריון לאישור של ההתפלגות הנאמדת כמייצגת את התפלגות הנתונים הוא ערך ה-P-value של מבחן טיב ההתאמה. אם ערך זה גבוה מרמת המובהקות המקובלת של 0.05, ההתפלגות הנאמדת ניתנת לאישור כמייצגת (או, במונחים סטטיסטיים, אי-אפשר לדחות, ברמת המובהקות 0.05, את השערת האפס של ההתפלגות הנאמדת). מתוך מגוון משפחות של התפלגויות, לאחר כמה שלבי סינון נותרו לשיקול סופי ההתפלגויות GAMMA, NAKAGAMI (שהיא מודיפיקציה של GAMMA), GEV (GENERALIZED EXTREME VALUE), ו- EV (EXTREME VALUE). למעט NAKAGAMI (שלפעמים הייתה עדיפה על GAMMA אך נכשלה באחד הרבעונים בנקודות סריג בודדות), כולן עברו את מבחן טיב ההתאמה בכל נקודות הסריג, הן בכל רבעון והן בעונה כולה. יחד עם זאת בכל 6 התקופות שבדקנו משפחת ה-GEV הציגה באופן עקבי ביצועים טובים יותר מ-3 המשפחות האחרות (ראו איור 1 המבוסס על ערכי ה-P-value של מבחן Anderson-Darling) ולכן אימצנו את משפחת התפלגויות GEV (הגמישות של GEV לעומת EV מוסברת על ידי פרמטר נוסף שהוא פרמטר צורה לא אפסי).



איור 1 – חציון ערכי P על פי מבחן Anderson Darling, בשטח הממופה, ברבעונים השונים ובעונה כולה.

4. באמצעות משפחת GEV חושב לסדרות הגשם הרבעוניות וכן לסדרה העונתית ערך ההתפלגות המצטברת (CDF) לכל נקודת סריג, לפי הפונקציה המותאמת לסדרת הנתונים מ-1952/3 ועד 2016/7.

5. ערך CDF זה של ההתפלגות המותאמת נכנס לחישוב של מספר סטיות התקן (z-score) של ההתפלגות הנורמלית הסטנדרטית ומספר זה הוא ה-SPI:

$$SPI = \mathcal{N}^{-1}(CDF, 0, 1).$$

6. מדד ה-SPI חושב בצורה הזו, הן ל-5 תקופות תלת חודשיות (SPI-3) והן לעונת הגשם כולה.

7. לעונת 2017/2018 מחושב מדד ה-SPI ע"פ הפרמטרים של התפלגות האם שנאמדו על בסיס 65 עונות הגשם הקודמות, מתוך הנחה כי אומדני ההתפלגות של סדרה ארוכה שכזו יציבים (robust).

ספרות:

1. McKee, T.B., N.J. Doesken and J. Kleist, 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scale. In: *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*, Anaheim, California, 17–22 January 1993. Boston, American Meteorological Society, 179–184.
2. WMO, 2012: Standardized Precipitation Index, User Guide. No. 1090
3. Svensson, C., J. Hannaford, and I. Prosdocimi, 2017: Statistical distributions for monthly aggregations of precipitation and streamflow in drought indicator applications, *Water Resour. Res.*, 53, 999–1018, doi:10.1002/2016WR019276.
4. MATLAB package.